

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Beton

Beton adalah suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus) dan dengan atau bahan tambah (*admixture*) apabila diperlukan. Semen dan air membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat, agregat kasar dan halus berfungsi sebagai bahan pengisi dan penguat. Variasi ukuran agregat dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik sesuai dengan standar analisa saringan dari ASTM (*America Society of Testing Materials*). Bahan – bahan dipilih yang sesuai dengan kebutuhan yang direncanakan. Pemilihan bahan ini sendiri akan mempengaruhi konstruksi dari segi kemudahan pengerjaan (*workability*), karena dari segi kemudahan pengerjaan ini sendiri terdapat banyak variasi yang memenuhi yaitu dari segi kualitas, harga dan mutu beton itu sendiri.

2.2 Sejarah Perkembangan Beton.

Hingga saat ini bahan bangunan yang paling banyak diminati adalah beton. Hal ini disebabkan antara lain oleh kemudahan untuk dibuat menjadi berbagai bentuk, relatif tidak memerlukan tenaga yang sangat ahli dalam pembangunan, relatif tidak memerlukan perawatan pasca pembangunan yang berarti, dan dari segi ekonomis bahan beton adalah paling murah bila dibandingkan konstruksi baja atau kayu, lebih tahan terhadap bahaya kebakaran, serta relatif kaku.

Disamping itu beton mempunyai beberapa kekurangan seperti kekuatan fisik tarik yang rendah, memerlukan bekisting dan penumpu saat konstruksi, perbandingan kekuatan terhadap berat yang relatif lebih rendah dan stabilitas volumenya relatif rendah.

Pemakaian beton telah dimulai sejak zaman Romawi. Namun baru pada awal abad 19 bahan beton mengalami banyak perkembangan.

1. Tahun 1801, F.Coignet menemukan bahan beton mempunyai kekuatan tarik yang rendah.
2. Tahun 1824, Aspidin penemu Portland semen.
3. Tahun 1850, J.L. Lambot berhasil membuat perahu kecil dari bahan semen.
4. Tahun 1867, J. Monier, petani Perancis, mempatenkan rangka baja sebagai tulangan untuk gentong beton yang ia buat.
5. Tahun 1888. Kolnen, untuk pertama kali memperkenalkan teori dan perencanaan struktur beton.
6. Tahun 1906, C.A.P. Turner memperkenalkan pelat rata tanpa balok.
7. Tahun 1938, teori kekuatan batas (*ultimate strength design*) di USSR.
8. Tahun 1956, teori kekuatan batas di USA dan Inggris.

Perkembangan lebih lanjut dari teknologi beton adalah diperkenalkannya beton mutu tinggi dengan kuat tekan dapat mencapai 135 Mpa, dan kuat tarik sebesar 12,5 Mpa. Selain itu dikenal pula jenis-jenis beton lainnya seperti beton berserat (*fiber concrete*), beton ringan (*light weight concrete*), beton polimer (*polymer concrete*), *latex modified concrete*, *gap-graded concrete*, *no-fines concrete*, *no-fines concrete*, dan lain-lain.

2.3 Material Penyusun Beton

Berikut ini adalah material- material yang merupakan komposisi campuran beton :

2.3.1 Semen Portland (PC)

Semen merupakan bubuk halus yang diperoleh dengan menggiling *klinker* yang didapat dari pembakaran suatu campuran yang baik dan merata antara kapur dan bahan-bahan yang mengandung *silika*, *aluminia*, dan *oxid* besi), dengan batu gips sebagai bahan tambah dalam jumlah yang cukup. Bubuk halus ini bila dicampur dengan air, selang beberapa waktu dapat menjadi keras dan digunakan sebagai bahan ikat hidrolis. (**Kardiyono Tjokrodimulyo**, 1989)

Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun sebagai bahan pengikat maka peranan semen sangat penting. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan.

Sifat-sifat kimia dari bahan pembentuk ini mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan, sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh senyawa dari semen Portland. Sedangkan untuk susunan oksida semen Portland (**Paul Nugraha & Antoni**, 2007), sebagai berikut :

Tabel 2.1 Empat Senyawa Utama dari Semen Portland

Nama Senyawa	Rumus Empiris	Rumus Oksida	Notasi	Kadar Rata-rata
Trikalsium Silikat	Ca_3SiO_5	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S	50
Dikalsium Silikat	Ca_2SiO_4	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S	25
Trikalsium Alumnat	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_3$	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	12
Tetrakalsium Aluminoforit	$2\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ FeO}_3$	C_4AF	8
Calcium sulfate dyhydrae		$\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$	CSH_2	3,5

Sumber : (Paul Nugraha & Antoni, 2007)

Tabel 2.2 Susunan Oksida Semen Portland secara umum

Oksida	Notasi Pendek	Nama Umum	% Berat
(CaO)	C	Kapur	63
(SiO ₂)	S	Silika	22
(Al ₂ O ₃)	A	Alumunia	6
(Fe ₂ O ₃)	F	Besi	2,5
(MgO)	M	Magnesia	2,6
(SO ₂)	S	Sulfur dioksida	2
(K ₂ O)	K	Alkalis	0.6
(Na ₂ O)	N	Disodium oksida	0.3
(CO ₂)	C	Karbondioksida	-
(H ₂ O)	H	Water	-

Sumber : (Paul Nugraha & Antoni, 2007)

Tabel 2.3 Sifat masing – masing komposisi utama semen

Bahan	Kecepatan Hidrasi	Panas Hidrasi (J/g)	Andil terhadap kekuatan	susut
C_3S	cepat	503 - tinggi	> setelah 28 hari	sedang
C_2S	lambat	260 - rendah	> setelah 28 hari	sedang
C_3A	Sangat cepat	867 - sangat tinggi	> dalam 1 hari	besar
C_4AF	cepat	419 - sedang	Sedikit	kecil

Sumber : (Paul Nugraha & Antoni, 2007)

Senyawa-senyawa kimia dari semen Portland adalah tidak stabil secara termodinamis, sehingga sangat cenderung untuk bereaksi dengan air. Untuk membentuk produk hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air dari setiap komponen adalah berbeda-beda, maka sifat-sifat hidrasi masing-masing komponen perlu dipelajari.

1. *Tricalcium Silikat* (C_3S) = $3CaO \cdot SiO_2$

Senyawa ini mengalami hidrasi yang sangat cepat yang menyebabkan pengerasan awal, menunjukkan desintegrasi (perpecahan) oleh sulfat air tanah, oleh perubahan volume kemungkinan mengalami retak-retak.

2. *Dicalcium Silikat* (C_2S) = $2CaO \cdot SiO_2$

Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dan dapat mengeluarkan panas, kualitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.

3. *Tricalcium Alumnat* (C_3A) = $3CaO \cdot Al_2O_3$

Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari, memiliki ketahanan kimia agresi yang relatif tinggi, penyusutan yang relatif rendah.

4. *Tetracalcium Aluminoforit* (C_4AF) = $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot FeO_3$

Adanya senyawa *aluminoforit* kurang penting karena tidak tampak banyak pengaruh kekuatan dan sifat semen. (**Murdock., dkk** , 1999).

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa tipe semen yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen Portland di Indonesia (PUBI, 1982) dibagi menjadi 5 jenis, antara lain:

Tabel 2.4 Jenis-jenis semen Portland menurut ASTM C.150

Jenis Semen	Kadar Senyawa (%)							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ Af	CaSO ₄	CaO	MgO	
I	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Semen untuk semua tujuan
II	46	29	6	12	2.8	0.6	3	Relative sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar
III	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari
IV	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Di pakai pada bendungan beton
V	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Dipakai pada saluran dan struktur yang di ekspose terhadap sulfat

Sumber : (ASTM C.150)

2.3.2 Air

Dalam pembuatan beton, air menjadi sangat penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama-sama semen akan naik keatas permukaan adukan beton

segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapisan-lapisan beton dan membuat menjadi lemah.

Tabel 2.5 Batasan kandungan zat kimia air dalam adukan
(ppm = *Parts per million*)

No	Kandungan unsure kimia	Konsentrasi maksimum (ppm)
1	Chlorida (Cl) : Untuk beton prategang Untuk beton bertulang	500 1000
2	Sulfat (SO ₄)	1000
3	Alkali (Na ₂ O + K ₂ O)	600
4	Total Solid	50000

Sumber : (Hanafiah.,dkk, 2010)

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

1. Sifat *Workability* adukan beton.
2. Besar kecilnya nilai susut beton.
3. Kelangsungan reaksi dengan semen Portland, sehingga dihasilkan dan kekuatan selang beberapa waktu.
4. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung *Klorida* (Cl) lebih dari) > 5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa *sulfat* lebih dari 1 gram/liter.

2.3.3 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu-batuan atau juga berupa hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alam. Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, namun demikian peranan agregat pada beton sangat penting. Kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 60% - 80% dari volume total beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton. Agregat dibedakan menjadi dua macam yaitu agregat kasar dan agregat halus, agregat kasar dapat didapat secara alami dan buatan.

Untuk menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran kekerasan butiran agregat. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 38mm, 25mm, 19mm, 12,5mm, 9,6mm, 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,425mm, 0,150mm untuk koral. Untuk pasir lubang ayakan 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,425mm, dan 0.15mm. Penggunaan bahan batuan dalam adukan beton berfungsi :

1. Menghemat penggunaan semen portland.
2. Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton.
3. Mengurangi susut pengerasan.
4. Mencapai susunan pampat beton dengan gradasi beton yang baik.
5. Mengontrol *workability* adukan beton dengan gradasi bahan batuan baik.

(Paul Nugraha & Antoni, 1995)

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan berdasarkan pada ukuran butiran-butirannya. Agregat yang mempunyai butiran-butiran yang besar disebut agregat kasar yang ukurannya lebih besar dari 4.75mm. sedangkan butiran agregat yang kecil disebut agregat halus yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4.75mm.

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03 tentang tata cara pencampuran beton kekerasan pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu

pasir halus, agak kasar dan kasar. Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Pasir harus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras. Hal ini dikarenakan adanya bentuk pasir yang tajam, maka kaitan antara agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
2. Butirnya harus bersifat kekal. Sifat kekal ini berarti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 15% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkualitas rendah.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
5. Gradasinya harus memenuhi syarat. Seperti tabel 2.6 berikut ini :

Tabel 2.6 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : (Tri Mulyono, 2005)

Keterangan :

Daerah pasir I : pasir kasar.

Daerah pasir II : pasir agak kasar.

Daerah pasir III : Pasir agak halus

Daerah pasir IV : Pasir halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai disintegrasi alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran terbesar 4.8 mm. Agregat halus dapat digolongkan menjadi 5 (lima) macam (**Hanafiah., dkk**, 2010), yaitu :

1. Pasir sungai
Pasir ini biasanya dengan kandungan lumpur yang lebih tinggi. Bentuk butirannya membulat.
2. Pasir gunung
Jenis pasir ini biasanya berupa hasil letusan gunung berapi, mempunyai bentuk butiran yang menyudut dan biasanya mempunyai kadar lumpur yang lebih rendah.
3. Pasir laut
Bila akan memakai pasir laut, perlu dicuci dahulu, dan untuk pekerjaan – pekerjaan tertentu perlu diadakan penelitian.
4. Pasir dari batu pecah
Pasir ini biasanya diperoleh dari pemecahan bongkahan batu saat membuat batu pecah alami (*natural crushed stone*). Bentuk butirannya pipih dan lebih tajam sehingga akan mengurangi *workability* dan menghasilkan beton yang lebih berat.
5. Pasir kwarsa
Pasir kwarsa biasanya diperoleh dari suatu penambangan di darat, dan kandungan terbesarnya adalah silika. Beton dari pasir kwarsa akan

memberikan *bleeding* yang berlebihan dan harus diperiksa kemungkinan terjadinya AAR. (*Alkali Aggregate Reaction*)

Agregat kasar berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 5 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm. ukuran maksimum dari beton bertulang diatur berdasarkan kebutuhan agregat tersebut harus dengan mudah dapat mengisi cetakan dan lolos dari celah-celah yang terdapat diantara batang-batang baja tulangan. Berdasarkan berat jenisnya, agregat kasar dibedakan menjadi 3 (tiga) golongan (**Tri Mulyono, 2005**), yaitu :

1. Agregat Normal.

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2.5-2.7 gram/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari agregat basalt, granit, kuarsa dan sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis sekitar 2.3 gram/cm³

2. Agregat berat.

Agregat berat adalah agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2.8 gram/cm³, misalnya magnetik (FeO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis tinggi sampai 5 gram/cm³. Penggunaannya sebagai pelindung dari radiasi.

3. Agregat ringan.

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2.3 gram/cm³, yang biasanya dibuat untuk beton non struktural atau dinding beton. Kebaikannya adalah berat sendiri yang rendah sehingga struktural ringan dan pondasinya lebih ringan. Dalam pelaksanaan pekerjaan beton, besar butir agregat selalu dibatasi oleh ketentuan maksimal persyaratan agregat, ketentuan itu antara lain :

- a. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih dari 3/4 kali jarak bersih antara baja tulangan atau antara tulangan dan cetakan.

- b. Ukuran maksimum butiran agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{3}$ kali tebal plat.
- c. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{5}$ kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Agregat yang dapat dipakai harus memenuhi syarat-syarat (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**) :

1. Kerikil harus merupakan butir yang keras dan tidak berpori. Kerikil tidak boleh hancur adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras juga. Sifat tidak berpori, untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus air.
2. Agregat harus bersih dari unsur organik.
3. Kerikil tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering, lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila lumpur melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu.
4. Kerikil mempunyai bentuk yang tajam. Dengan bentuk yang tajam maka timbul gesekan yang lebih besar pula yang menyebabkan ikatan yang lebih baik, selain itu dengan bentuk tajam akan membuat pasta semen mengikat agregat dengan baik.

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta semen lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirannya, berarti sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar berada dalam pasta, tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya, karena butir-butir agregatnya besar maka luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat. (**Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992**)

Indek yang dipakai untuk ukuran kehalusan dan kekerasan butir agregat ditetapkan dengan modulus halus butir. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus 1.5 sampai 3.8 dan kerikil antara 5 sampai 8 Modulus halus butir campuran dihitung dengan rumus :

$$W = \frac{K-C}{C-P} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

W : persentase berat pasir terhadap berat kerikil

K : Modulus halus butir kerikil.

P : modulus halus butir pasir

C : modulus halus butir campuran.

Tabel 2.7 Gradasi agregat Kasar.

Lubang ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan	
	Besar butiran maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4.8	0-5	0-10

Sumber : (Tri Mulyono, 2005)

2.4 Bahan pengganti limbah beton dan limbah dinding bata.

Penggunaan limbah benda padat sebagai pengganti agregat dalam pembuatan beton seperti pemakaian abu terbang (*fly ash*), robekan-robekan kaleng bekas sebagai pengganti serat beton, dan bekas bangunan tampak meningkat kebutuhannya (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992).

Saat ini banyak sekali bangunan yang lama dibongkar, diperbaiki bahkan diganti dengan bangunan baru. Limbah beton dan limbah dinding bata merupakan hasil dari pembongkaran bangunan misalnya dinding rumah, struktur gedung, dan lainnya.

Bata batu pecah yang bersih merupakan agregat yang memenuhi syarat, kekuatan dan berat jenis beton tergantung pada jenis batu batanya. Suatu batu bata campuran atau yang biasa dipakai dalam bidang teknis, bila dipecahkan dapat menghasilkan beton yang baik dengan kekuatan hancur sedang. (Murdock, dkk, 1999).

2.5 Bahan Tambah Beton (*Admixtures*)

Fungsi dari bahan tambah adalah memodifikasi perilaku beton. Pemakaian bahan tambah ini harus dengan *trial mix*, agar terpenuhi syarat-syarat yang diinginkan sehubungan dengan pemakaian bahan tambah ini dan tidak ada efek yang merugikan (mempengaruhi keawetan). Ada dua jenis bahan tambah, antara lain:

1. Bahan Tambah kimia (*chemical admixture*)

Bahan tambah yang dapat larut dalam air digolongkan *chemical admixtures*. *Chemical admixtures* biasanya digunakan dalam jumlah yang sedikit pada campuran beton. Tujuan penggunaannya untuk memperbaiki sifat – sifat tertentu dari campuran. Penggunaan *admixtures* harus mengikuti spesifikasi yang ditetapkan produsennya. Menurut ASTM C494, ada 7 jenis/tipe bahan tambah kimia, yaitu :

- a. Tipe A ; *water reducing admixture / plasticizer*
Bahan tambah yang mengurangi air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.
- b. Tipe B : *retarding admixtures*
Bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton dan menunda waktu pengikatan beton (*setting time*).
- c. Tipe C ; *accelerating admixtures*
Bahan tambah yang digunakan untuk mempercepat pengembangan dan pengikatan kekuatan awal beton.
- d. Tipe D ; *Water reducing and retarding admixtures*
Bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.
- e. Tipe E : *water reducing and accelerating admixtures*
Bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.
- f. Tipe F : *Water reducing high range admixtures*
Bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi air dalam pencampuran untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12 % atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton.

2. Bahan Tambah Mineral (*Mineral admixtures*)

Mineral admixtures dapat bersifat semen, *pozzolanik* atau kedua-duanya. Bahan ini dapat digunakan sebagai pengganti sebagian berat semen dalam campuran beton. Contohnya : *silica fume*, abu terbang (*fly ash*), bahan – bahan *pozzolan* dan bahan – bahan bersifat semen. Keuntungan menggunakan bahan tambah mineral adalah :

1. Memperbaiki kinerja *workability*
2. Mengurangi panas hidrasi
3. Mempertinggi kekuatan tekan beton
4. Mengurangi penyusutan
5. Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton
6. Mengurangi biaya pekerjaan beton
7. Mempertinggi daya terhadap serangan sulfat
8. Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika
9. Mempertinggi keawetan beton.

2.6 *Workability*

Workability sering diartikan sebagai tingkat kemudahan pengerjaan campuran beton untuk diaduk, dituang, diangkut, dan dipadatkan. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan dikerjakan antara lain (**Tri Mulyono**, 2003).

1. Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Makin banyak air yang dipakai, makin mudah beton segar itu dikerjakan tetapi pemakaian air juga tidak boleh terlalu berlebihan.
2. Penambahan semen kedalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan betonnya, karena diikuti dengan penambahan air campuran untuk memperoleh nilai faktor air semen tetap.
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil, jika campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton mudah dikerjakan.
4. Pemakaian butiran yang bulat akan memudahkan cara pengerjaan.

5. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai berpengaruh terhadap pengerjaan.
6. Cara pemadatan beton menentukan sifat pekerjaan yang berbeda.
7. Selain itu, beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan adalah jumlah kadar udara yang terdapat didalam beton dan penggunaan bahan tambah dalam campuran beton.

2.7 Faktor Air Semen.

Faktor air semen (*fas*) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Faktor air semen yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah faktor air semen kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai faktor air semen yang semakin rendah tidak selalu berarti nilai kuat tekan beton semakin tinggi. Nilai faktor air semen yang rendah akan mempengaruhi dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Oleh sebab itu ada faktor air semen optimum untuk menghasilkan kuat tekan maksimum. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (**Tri Mulyono**, 2003). Perbandingan f.a.s dengan kondisi lingkungan terdapat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor Air Semen Untuk Setiap Kondisi Lingkungan.

	Kondisi Lingkungan		
	Kondisi Normal	Basah kering berganti-ganti	Dibawah
Koreksi langsing atau yang hanya mempunyai penutup tulangan kurang dari 25 mm	0.53	0.49	0.40
Struktur dinding penahan tanah, pilar, balk, abutmen.	*	0.53	0.44
Beton yang tertanam dalam pilar, balok, kolom.	-	0.44	0.44
Struktur lantai beton diatas tanah	*	-	-
Beton yang terlindung dari perubahan udara (konstruksi interior bangunan)	*	-	-

*Rasio air semen ditentukan berdasarkan persyaratan kekuatan tekan rencana.

Sumber : (Tim Penyusun Struktur Beton, 1999)

Hubungan antara factor air semen dengan kuat tekan beton dapat ditulis dengan rumus Duff Abrams (1919) sebagai berikut :

$$f'c \frac{A}{B^{1.5 \cdot x}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan : f'c : kuat tekan beton (Mpa)

X : faktor air semen

A,B : konstanta

Dengan demikian semakin besar faktor air semn semakin rendah kuat tekan betonnya, walaupun apabila dilihat dari rumus tersebut tampak bahwa semakin kecil faktor air semen semakin tinggi kuat tekan beton, tetapi nilai fas yang rendah akan menyulitkan pemadatan, sehingga kekuatan beton akan rendah karena beton kurang padat. Dapat disimpulkan hampir dari semua tujuan beton yang mempunyai fas

minimal dan cukup untuk memberikan *workability* tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan yang berlebihan, merupakan beton yang baik.

Nilai faktor air semen pada beton mutu tinggi termasuk berat air yang terkandung di dalam agregat. Faktor air semen pada kondisi agregat kering oven.

2.8 Slump

Slump merupakan tinggi dari adukan dalam kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil. Slump merupakan pedoman yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakaan suatu adukan beton, semakin tinggi tingkat kekenyalan maka semakin mudah pengerjaannya (nilai *workability* tinggi). Nilai slump berbagai macam struktur diperlihatkan pada tabel 2.9

Tabel 2.9 Nilai Slump Untuk Berbagai Macam Struktur

Jenis Konstruksi	Nilai slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding pelat dan pondasi	75	25
Balok dan dinding beton	100	25
Kolom	100	25
Perkerasan jalan dan lantai beton	75	25
beton massa	50	25

Sumber : (Hanafiah, dkk, 2010)

2.9 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah perbandingan antara tingkatan beban yang diberikan dengan luas penampang. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik. Kekuatan tekan beton dapat dicapai sampai 1000 kg/cm² atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan.

Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200 - 500 kg/cm². Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa kubus 150 x 150 mm. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum sampai benda uji pecah di bagi dengan luas penampang benda uji merupakan nilai kuat tekan beton yang dinyatakan dalam Mpa atau kg/cm². Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar **ASTM C.39** atau menurut yang disyaratkan **PBI 1989**.

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah :

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan : f'_c = kuat tekan beton (Mpa)

P = beban maksimum (kN)

A = luas penampang benda uji (cm²)

Kuat tekan sangat dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain (**Kardiyono Tjokrodinulyo, 1992**) :

1. Pengaruh mutu semen Portland.
2. Pengaruh dari perbandingan adukan beton.
3. Pengaruh air untuk membuat adukan.
4. Pengaruh umur beton.
5. Pengaruh waktu pencampuran.
6. Pengaruh perawatan.
7. Pengaruh bahan campuran tambah.

2.10 Perencanaan Campuran Beton

Tata cara perencanaan beton dengan limbah pecahan beton dan pecahan dinding bata sebagai pengganti agregat kasar digunakan untuk menentukan beton normal dengan kuat tekan tertinggi. Tata cara yang digunakan berdasarkan SK SNI T-15-1990-03 tentang tata cara perhitungan campuran beton.

2.11 Persyaratan Kinerja

a. Umur Uji

kuat tekan yang disyaratkan untuk menentukan proporsi campuran beton normal dapat dipilih untuk umur 28 hari.

b. Kuat tekan yang disyaratkan

Untuk mencapai kuat tekan yang disyaratkan, campuran harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian dilapangan lebih tinggi dari pada kuat tekan yang disyaratkan.

Produsen beton boleh menentukan proporsi campuran beton normal berdasarkan pengalaman di lapangan pada kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan. Beberapa persyaratan lain yang dapat mempengaruhi pemilihan bahan dan proporsi campuran beton antara lain :

1. Modulus Elastisitas
2. Kuat Tekan dan Kuat Lentur
3. Panas Hidrasi.
4. Rangkak dan Susut Akibat Pengeringan.
5. *Permeabilitas*.
6. Waktu Pengikatan.
7. Metode Pengecoran dan Kecelakaan.

2.12 Faktor – Faktor Yang Menentukan Kualitas Campuran Beton

Faktor –faktor yang menentukan kualitas campuran beton adalah sebagai berikut :

a. **Pemilihan Bahan**

Proporsi campuran yang optimum harus ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik koral dan limbah pecahan beton dan limbah pecahan dinding bata (kualitas agregat), karakteristik semen, proporsi pasta, integrasi agregat pasta, macam dan jumlah bahan campuran tambahan dan pelaksanaan pengadukan. Hasil evaluasi tentang semen Portland, agregat dari berbagai sumber, serta berbagai macam dari proporsi campuran, dapat digunakan untuk menentukan kombinasi bahan yang optimum.

b. **Semen Portland (PC)**

Semen Portland harus memenuhi SNI 15-2049-1994 tentang mutu dan cara uji semen Portland. Semen yang dipakai adalah semen tipe I (PC) semen padang.

c. **Air**

Air harus memenuhi SK SNI S-04-1989-F tentang spesifikasi bahan bangunan bagian A (bahan bangunan bukan logam)

d. **Agregat kasar**

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat normal yang sesuai dengan SNI 03-1750-1990 tentang mutu dan cara uji agregat beton. Ukuran nominal agregat maksimum 20mm atau 25mm, jika digunakan untuk membuat beton berkekuatan sampai 62,1 MPa, dan ukuran 10 mm dan 15 mm, jika digunakan untuk beton berkekuatan lebih besar dari pada 62,1 Mpa.

e. **Agregat halus**

Agregat halus harus memenuhi ketentuan SNI 03-1750-1990 tentang mutu cara uji agregat beton. Beton kekuatan tinggi sebaiknya menggunakan agregat halus dengan modulus kehalusan 2,5 sampai dengan 3,2. Bila digunakan pasir

buatan, adukan beton harus mencapai kelecakan yang sama dengan pasir alam.

f. Rasio air dengan bahan bersifat semen w/c

Rasio air dengan bahan bersifat semen w/c harus dihitung berdasarkan perbandingan kadar air dan berat semem.

g. Kelecakan

Kelecakan adalah kemudahan pengerjaan yang meliputi pengadukan, pengecoran, pemadatan dan penyelesaian permukaan (*finishing*) tanpa terjadi segregasi.

h. Slump

Untuk beton normal slump yang digunakan

i. Metode pengujian

Metode pengujian yang digunakan adalah berdasarkan kekuatan potensial untuk satu set bahan tertentu dapat ditetapkan hanya bila benda uji telah dibuat dan diuji pada kondisi standar. Minimum dua benda uji harus di uji untuk setiap umur dan kondisi benda uji.

j. Ukuran benda uji

Ukuran benda uji kubus yang dapat digunakan yaitu 150 mm x 150 mm sebagai benda uji standar untuk mengevaluasi kekuatan tekan beton kekuatan tinggi.

k. Cetakan benda uji

Cetakan benda uji dibuat dari baja sesuai dengan *ACI 211.1.189*.

l. Mesin uji

Mesin uji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

m. Kekakuan lateral minimum 17874 kg/cm

n. Kekakuan longitudinal minimum 178740 kg/cm.